

최대유량역에서 소형 축류 팬의 3차원 난류유동 특성에 관한 연구

A Study on the Three-Dimensional Turbulent Flow Characteristics of a Small-sized Axial Fan at the Maximum Flowrate Region

김 장 권

J. K. Kim

Key Words : Axial Fan(축류 팬), Characteristic Curve(특성곡선), Flow Coefficient(유량계수), LDA(레이저유속계), Maximum Flowrate Region(최대유량역), Operating Point(운전점), Turbulent Flow(난류유동)

Abstract : This study represents three-dimensional turbulent flow characteristics around an axial fan measured at the operating point $\phi=0.32$, which is equivalent to the maximum flowrate region, by using three-dimensional fiber-optic type LDA system. This LDA system is composed of a 5 W Argon-ion laser, two optics in back-scatter mode, three BSA's, a PC, and a three-dimensional automatic traversing system. A kind of paraffin fog is used for laser particles in this study. Mean velocity profiles around an axial fan along the downstream radial distance show that the streamwise and the tangential components exist as a predominant velocity and have the maximum value at the radial distance ratio 0.8, while the radial component has a small scale distribution and its flow direction is inward except a part of blade tip. The turbulent intensity profiles show that the radial component exists the most greatly. And also the turbulent kinetic energy shows about 60% as a maximum value at the radial distance ratio 0.9. Moreover, the Reynolds shear stresses do not exist at upstream flow, but the streamwise and the radial components of them show about 20% as a maximum value at the radial distance ratio 0.9 at downstream flow.

기호설명

- B : 블레이드(Blade) 폭 [m]
- C : 캠버(Camber) [m]
- C_{D1}, C_{D2}, C_{D3} : 각각 BSA1, BSA2, BSA3의 도플러(Doppler) 주파수에 대한 유동속도의 교정인자(Calibration factor)
- D : 직경 [m]
- f_{D1}, f_{D2}, f_{D3} : 각각 BSA1, BSA2, BSA3의 도플러 주파수
- L : 현(Chord) 길이 [m]
- KE : 난류운동에너지 [m^2/s^2]

$$\left\{ = \frac{1}{2} (v_z^2 + v_r^2 + v_\theta^2) \right\}$$

- N : 팬 회전수 [rpm]
 - P : 압력 [mmH₂O]
 - Q : 풍량 [m^3/min]
 - R : 외주반경 [m]
 - R_c : 블레이드 곡률반경 [m]
 - r : 반경방향의 거리 [m]
 - T : 토크(Torque) [kgf · m]
 - T_b : 블레이드 두께 [m]
 - t_b : 블레이드 피치(Pitch) [m]
 - U_1, U_2, U_3 : 각각 BSA1, BSA2, BSA3으로부터 얻어지는 순간속도
 - V : 평균속도 [m/s]
 - V_{AV} : 축류 팬 상류에서의 평균속도 [m/s]
- $$\left\{ = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_H^2) } \right\}$$
- v : 난류속도 [m/s]
 - v^2 : 난류속도의 평균제곱(Variance) [m^2/s^2]

접수일 : 2000년 6월 24일
김장권 : 군산대학교 기관공학과

- (v)_{rms} : 난류속도의 평균제곱근 [m/s]
- v_zv_r, v_zv_θ, v_rv_θ : 레이놀즈(Reynolds) 전단응력 [m²/s²]
- X, Y, Z : 직교좌표계 방향 및 거리
- Z_b : 블레이드 수
- L/t_b : 솔리디티(Solidity) [-]
- γ : 공기의 비중량(=1.205) [kgf/m³]
- θ : 블레이드 취부각도 [°]
- θ₁, θ₂, θ₃ : BSA1, BSA2 및 BSA3에 각각 해당하는 녹색, 청색 및 보라색 레이저빔 사이의 반각 [°]
- φ : 유량계수 [-]

$$\left\{ = \frac{0.4053 \cdot Q}{N D_2^3 (1 - (D_H / D_2)^2)} \right\}$$
- ψ : 압력계수 [-]

$$\left\{ = \frac{5937.2 \cdot P}{D_2^2 N^2} \right\}$$
- λ : 동력계수 [-]

$$\left\{ = \frac{15118.96 \cdot T}{D_2^3 N^2 (D_2^2 - D_H^2)} \right\}$$
- λ₁, λ₂, λ₃ : BSA1, BSA2 및 BSA3에 각각 해당하는 녹색, 청색 및 보라색 레이저의 파장(Wavelength)
- η : 효율 $\left\{ = \frac{15.92 \cdot PQ}{NT} \right\}$ [-]
- 하첨자
 - 2 : Outer
 - H : 허브(Hub)
 - o : 오리피스(Orifice)
 - r : 반경방향(Radial direction)
 - s : Static
 - T : Tip
 - t : Total
 - z : 축방향(Axial direction)
 - θ : 접선방향(Tangential direction)

1. 서 론

프로펠러(Propeller) 팬(Fan)이라고도 말하는 축류 팬(Axial Fan)은 냉장고, 컴퓨터, 에어컨, 자동차 등의 각종 산업 전반에 걸쳐서 기기의 열전달 현상을 촉진하기 위해서나 또는 건물 등의 실내 공기를 쾌적하게 환기시키는 선풍기 또는 환풍기 용도로 인간생활에 매우 밀접하게 응용되고 있다.

일반적으로 축류 팬은 다른 팬에 비해 낮은 압

력, 많은 풍량이 발휘되는 환경에서 적절한 것으로 잘 알려져 있으며, 사용되는 환경에 따라 소형, 중형, 대형 등으로 제작되어 응용되고 있다.

특히 냉장고에서 사용되고 있는 소형 축류 팬은 냉동실 및 냉장실에서 냉기류의 적정 분배 및 순환을 제어하기 위해 사용되고 있으며, 또 냉장고 밖 뒷면에 위치한 기계실 내에서도 콤프레서(Compressor) 및 콘덴서(Condenser)의 냉각을 위해서 널리 사용되고 있다. 실제 냉장고 내에서 사용되고 있는 소형 축류 팬은 블레이드 두께가 매우 얇은 플라스틱 사출물로 만들어져 있어 부하 변동에 따라 소음, 진동 및 풍량 성능의 변화가 발생하는 문제점이 있다. 그러나 냉장고의 경우 한정된 외곽크기 내에서 될 수 있는 한 고(庫)내 수납 공간을 많이 확보해야 하는 기술적인 측면이 있기 때문에, 그리고 소형 축류 팬이 다른 팬에 비해서 매우 값도 싸고, 공간 배치가 용이하기 때문에 현재까지도 많이 사용되고 있다.

축류 팬에 대한 연구는 실험적 연구와 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD로 표기함) 기법을 이용한 수치해석적 연구로 대별된다. 실험적 연구내용에는 저소음화 및 효율향상을 위해 축류 팬의 기하학적 치수 변경이나 적용하고자 하는 시스템과의 배열구조나 치수 변경을 통해 공력특성과 주변 유동장 속도분포 및 유동소음의 개선 효과를 다룬 내용들이 있다¹⁻³⁾. 또 블레이드면에 작용하는 압력분포를 다루거나⁴⁾, 열선풍속계나 레이저유속계(Laser Doppler Anemometer, 이하 LDA로 표기함)를 이용한 블레이드 익렬(Cascade)에서의 유동속도 벡터를 다루는 경우⁵⁻⁸⁾와 설계점을 만족하는 운전점에서 형성되는 팬 후류의 유동속도를 회전각도별로 분석한 경우⁹⁻¹¹⁾가 대부분이다. 한편, CFD 기법을 이용한 이론적 연구내용에는 축류 팬에 대한 보다 정확한 유동 정보를 얻고자 새로운 CFD 기법을 개발하는 방법의 소개나 그 기법을 적용한 유동장 결과들을 다루는 연구¹²⁻¹³⁾가 주를 이루고 있는 실정이다.

본 연구에서는 냉장고용 소형 축류 팬의 공력특성으로부터 최대 풍량을 만족하는 운전점을 가지고 축류 팬의 난류유동장 분포를 상류(Upstream)와 하류(Downstream)에서 반경방향의 거리 증가에 따라 또 오리피스 유무에 따라 비교 분석하고자 한다. 또한 본 연구에서의 공력특성은 축류 팬을 가지고 일정한 회전수로 운전시킨 상태에서 팬 테스터(Fan tester)를 이용하여 얻을 수 있는데, 이때 얻어진 무차원 공력특성으로부터 최대풍량을 만족하는 운전점을 선택할 수 있다. 따라서 본 연

구에서는 이 조건에서 소형 축류 팬의 상류 및 하류에서 형성되는 난류유동장의 3차원 성분의 속도들, 즉 축방향 속도성분 V_z , 반경방향 속도성분 V_r , 접선방향 속도성분 V_θ 를 반경방향의 위치 변화에 따라 3차원 LDA 시스템으로 측정하고자 한다.

본 연구의 목적은 직접적으로는 소형 축류 팬의 최대 풍량을 만족하는 운전점 조건하에서 오리피스 유무에 따라 팬 하류의 3차원 각 방향 속도성분의 분포가 팬의 회전수와 기하학적 형상변수에 의해서 상류의 팬 입구 유동장으로부터 어떻게 변하는지를 밝히고자 한다. 간접적으로는 직접 실험을 통하여 유동양상을 규명하는데 많은 어려움이 있는 냉장고의 냉동실과 같은 복잡한 공간내에서 축류 팬을 이용하는 연구 등에 CFD를 비교적 쉽게 적용할 수 있도록 하는데 입력변수로 필요한 축류 팬의 반경방향에 따른 3차원 평균속도성분들의 분포들을 제공하는데 있다

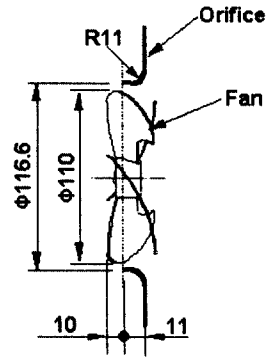


Fig. 2 Geometry configuration of axial fan and orifice

부착된 오리피스와 4각통 하부에 설치된 모터 (Toei, VLBSE-04040, 400Watts) 등으로 구성되어 있다. 이때 소형 축류 팬은 구동장치에 Fig. 2와 같은 조건으로 조립하였다.

축류 팬으로부터 3차원 난류유동장을 측정하기 위한 3차원 LDA 시스템의 하드웨어(Hardware) 구성요소들은 Table 2와 같다. 여기서 레이저 (Laser) 광원은 5Watt인 수냉식 아르곤-이온 (Argon-ion) 레이저를 사용하였고, 광원의 전달장치는 Fiber방식의 Optic 시스템을 사용하였다. 자료 취득 및 연산에는 PC와 On-line으로 연결된 Burst Spectrum Analyser(이하 BSA로 표기함)들을 사용하였으며, 레이저 빔(Beam)의 초점거리로부터 형성된 Probe 체적의 정밀이송에는 3차원 자동이송장치를 사용하였다. 한편, 자료의 연산처리에 사용된 광학장치의 상세한 내용은 Table 3과

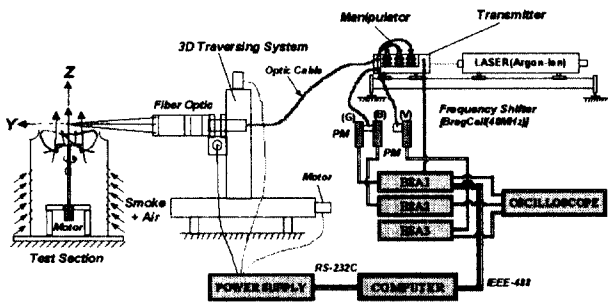


Fig. 1 Schematic diagram of data acquisition using 3-dimensional LDA system

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 축류 팬의 구동장치와 3차원 난류 유동장으로부터 평균 난류 특성치들을 측정하기 위해서 사용된 Dantec사의 3차원 LDA 시스템을 나타낸다.

먼저 본 연구에서 사용한 축류 팬은 실제 냉장고에서 사용하는 소형 축류 팬으로 외경 110mm, 허브 직경 25mm, 오리피스 직경 116.6mm, 블레이드 두께 2mm, 블레이드 수 4개 등의 제원을 가지며, 기타 자세한 상세 자료는 Table 1에 나타나 있다. 먼저 소형 축류 팬을 구동시켜 부하를 조정할 수 있도록 만든 팬 구동장치는 직경이 10mm인 다수의 구멍이 뚫린 두께 1mm인 투명아크릴 판을 이용하여 지주(支柱)와 함께 만들어진 4각통 상부에

Table 1 Specification of a small-sized axial fan for refrigerator

Item	Specification
Outer diameter, D_2	110
Hub diameter, D_H	25
Orifice diameter, D_0	116.6
Blade number, Z_b	4
Blade thickness, T_b	2
Blade curvature radius, R_c	109
Chord length at tip, L_T	73.6
Chord length at hub, L_H	14.54
Blade aspect ratio, B/L	0.4076
Camber ratio at tip, C/L_T	0.08
Solidity at tip, $(L/t_b)_T$	0.8519
Solidity at hub, $(L/t_b)_H$	0.7408
Blade attachment angle, θ	24

Table 2 The components of 3-dimensional LDA system

Item	Spec.& Model	Maker	
Laser	Power	5 Watts	Coherent Innova
	Source	Ar-ion, 90-5	
	Chiller	Water, Pure20	
3-D. Fiber Optic System	Interference Filter	514.5/488/476.5 nm	Dantec, Co.
	Beam Expander	1.98, 55X12	
	1-D. Probe	Ø85, 60X80	
	2-D. Probe	Ø85, 60X81	
	Fiber Manipulator	Transmission Efficiency>95%, 60X24	
	PM Section	57X08*3	
	Color Separator	55X35	
3-D. Burst Spectrum Analyser	BSA1	57N20	3-D. Traversing System
	BSA2 & BSA3	57N30	
	Frequency Shifter	57N14	
		540*540*540 mm	

Table 3 Specification of optical setup of 3-dimensional LDA system

Item	Specification		
	BSA1	BSA2	BSA3
Calibration Factor, C_D [m/s/MHz]	8.824	8.369	8.172
Wavelength, λ [nm]	514.5 (Green)	488 (Blue)	476.5 (Violet)
Beam Separation, [mm]	70	70	70
Focal Length, [mm]	1200	1200	1200

같다. 한편, 축류 팬의 공력특성을 얻기 위해 사용한 소형 팬테스터는 KSB 6311 및 AMCA STANDARD 210-85를 참고¹⁴⁻¹⁵⁾로 하여 직경 30mm의 노즐을 갖는 흡입식으로 제작되었다. 그리고 정압측정에는 마이크로 마노미터(Furness, FC012)를 사용하였으며, 팬 구동장치는 모터(Toei, VLBSE-01040, 100Watts)와 회전수 검출기(Ono-Sokki, MP-981)가 부착된 토오크 센서(OnoSokki, MD-502R)를 각각 축상에 커플링(Coupling)으로 상호 연결하였고, 이 축상에 팬 축을 물릴 수 있도록 축 끝에 척(Chuck)을 연결하여 제작하였다. 이때 토오크와 회전수는 신호저시계(OnoSokki, TS-3600A)를 사용하여 측정하였다.

2.2 실험방법

소형 축류 팬의 난류유동은 운전점이 저유량역

에서 최대유량역에 이르기까지 어느 위치에서 팬이 동작하느냐에 따라 3차원 각 방향 속도성분의 크기 변화와 유동방향이 모두 다르게 나타난다. 이에 대한 정확한 크기나 흐름방향은 3차원 LDA를 이용하지 않고서는 그 정확한 정보를 쉽게 파악할 수가 없게 된다. 실제 냉장고의 냉동실내에 설치된 소형 축류 팬의 3차원 난류유동을 직접 LDA시스템으로 측정하기에는 좁은 공간 때문에 레이저빔의 초점거리 및 각 Fiber Optic Probe들의 유효 교차각 형성에 그 적용한계가 있어 많은 문제점들이 있다.

본 연구에서는 축류 팬 단품을 이용하여 최대 풍량을 나타내는 운전점에서 발생하는 3차원 난류 유동장을 축류 팬의 전, 후방에서 각각 반경방향의 위치 변화에 따라 측정하고자 먼저 축류 팬을 Fig. 2와 같은 조건으로 팬테스터에 조립한 다음 실제 냉장고에서 운전되는 2400rpm의 일정 회전수로 동작시킨 후, 정압, 풍량 및 토오크를 측정하였다. 여기서 유량계수에 따른 정압효율, 전압효율을 포함한 압력계수들을 확보한 다음, 속도측정을 위한 기준조건으로 최대 풍량을 갖는 $\phi=0.32$ 를 운전점으로 정하였다. 이때 유량계수는 투명 아크릴판에 형성된 다수의 구멍을 모두 개방하여 조정하였다.

한편, Fig. 3은 축류 팬의 유동 측정점에 대한 속도방향의 기준을 나타내고 있다. 설정된 작동 운전점에서 소형 축류 팬의 3차원 속도성분, 즉 축방향 속도 V_z , 반경방향 속도 V_r , 접선방향 속도 V_θ 를 측정하기 위해 먼저 3차원 정밀 이송이 가능한 이송장치 위에 초점거리가 1200mm인 보라색의 1차원 측정용 Fiber Optic Probe와 초점거리가 1200mm인 녹색과 청색으로 구성된 2차원 측정용 Fiber Optic Probe를 서로의 초점이 일치하도록 마주보게 한 후, 레이저 초점위치를 소형 축류 팬의 중심점에 일치하도록 이송장치를 조정하였다. 본

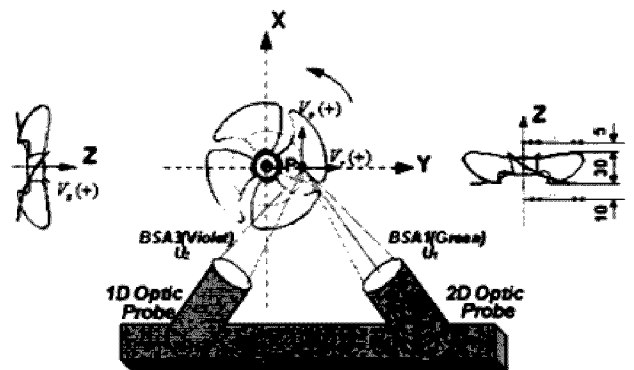


Fig. 3 Definition of velocity direction at the measuring point of axial fan

연구에서는 각각의 Fiber Optic Probe와 이송장치가 서로 이루는 일정각도를 $\alpha_1=18.9^\circ$, $-\alpha_2=20.9^\circ$ 로 각각 구하였다.

다음에는 축류 팬을 2400rpm으로 일정하게 구동시키고 유입공기와 더불어 속도측정에 필요한 산란 입자로 파라핀 계통의 연기를 공급하였다. 이때 연기공급에는 Invent사의 Fog Generator를 사용하였다. 그리고 모든 속도의 측정 과정은 컴퓨터 내에 설치된 소프트웨어에 의해서 BSA1, BSA2, BSA3으로부터 얻어지는 속도 측정 데이터의 Validation과 Datarate의 상태를 살펴가며 각 방향 속도성분의 정보들이 양호하게 얻어지도록 소프트웨어의 각종 변수들과 연기발생장치의 연기량을 제어하여 될 수 있는 한 수동으로 측정하였다.

한편 소형 축류 팬의 3차원 속도성분의 측정 위치는 Fig. 3의 우측 그림과 같이 축류 팬 상류측에서는 블레이드의 선단(Leading edge)에서 Z축 하부로 10mm 떨어진 위치에서, 그리고 축류 팬 하류측에서는 레이저빔이 블레이드에 부딪치지 않는 최소한의 떨어진 거리로서 블레이드 후연(Trailing edge)에서 Z축 상부로 5mm 떨어진 위치로 각각 설정하였다. 또 각 방향 속도성분의 통계학적 양상 불 평균연산을 원활히 하기 위해 각 측정위치에서 얻어진 총 버스트(Burst) 수는 BSA1, BSA2, BSA3 모두 Coincidence Mode를 Master로 하여 각각 5000개로 설정하였다. 여기서 후향산란(Back-scatter) 방식의 3차원 LDA로부터 얻어지는 각 방향 성분의 순간속도는 원통좌표계(Cylindrical coordinates)를 만족하는 식(1)과 식(2)에 의해서 각각 구해진다.

$$V_z = U_3$$

$$V_r = \frac{-U_1 \sin \alpha_2 + U_2 \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (1)$$

$$V_\theta = \frac{U_1 \cos \alpha_2 - U_2 \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

$$U_1 = f_{D1} \left(\frac{\lambda_1}{2 \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) = f_{D1} \cdot C_{D1}$$

$$U_2 = f_{D2} \left(\frac{\lambda_2}{2 \sin \frac{\theta_2}{2}} \right) = f_{D2} \cdot C_{D2} \quad (2)$$

$$U_3 = f_{D3} \left(\frac{\lambda_3}{2 \sin \frac{\theta_3}{2}} \right) = f_{D3} \cdot C_{D3}$$

그밖에 3차원 각 방향 성분의 평균속도, 난류강도, 난류운동에너지, 레이놀즈 전단응력 등은 컴

Table 4 Specification of a small-sized axial fan

Item	ψ_s	ψ_t	λ	$\eta_s(\%)$	$\eta_t(\%)$
$\phi=0.32$	0	0.0502	0.0596	0	28.66

퓨터에 내장된 "Burstware" 소프트웨어에 의해서 식(1)과 식(2)를 바탕으로 3차원 순간속도들의 통계학적 처리에 의해 얻을 수 있다. 그리고 본 연구에서는 3차원 속도성분의 각 방향을 Fig. 3에서와 같이 각각 정의하였다. 즉 축방향 속도성분은 상방향, 반경방향 속도성분은 바깥쪽을, 그리고 접선방향 속도성분은 반시계방향을 각각 양(+)의 값으로 하여 처리하였다.

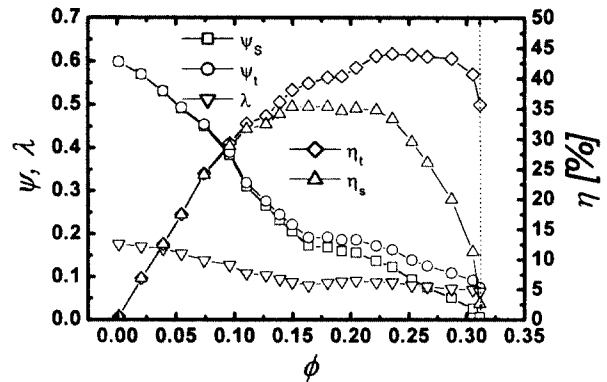


Fig. 4 Non-dimensional characteristic curve of a small-sized axial fan

3. 실험 결과 분석

3.1 소형 축류 팬의 공력특성

Fig. 4는 팬테스터로부터 소형 축류 팬을 2400 rpm으로 일정하게 구동시켰을 때 얻어진 무차원 특성곡선을 나타내는 그림이다. 유량계수의 증가에 따라 압력계수 및 동력계수는 감소하나 효율은 증가하다가 최고 효율점에 도달한 다음 다시 감소하는 분포 구조를 보이고 있다. 여기에서도 서어징(Surging)영역이 유량계수 약 0.16부근에서 존재함을 알 수 있다. 본 연구에서는 최대 풍량을 보이는 유량계수 0.32를 운전점으로 간주하여 축류 팬의 유동장 분포를 분석하는데 기준점으로 정하였다. 이때 유량계수 0.32를 만족하는 기타 특성치들은 참고로 Table 4에 나타내었다.

3.2 평균속도 분포

Fig. 5는 최대 풍량을 나타내는 운전점 $\phi=0.32$

에서 오리피스 유무에 따라 축류 펌 상류와 하류에서 각각 측정된 3차원 평균 유동속도 성분들을 축류 펌으로 유입하는 평균속도로 나누어 무차원으로 나타낸 그림이다. 여기서 Fig. 5(a), 5(b) 및 5(c)는 각각 축방향 성분, 반경방향 성분 및 접선방향 즉 회전방향 성분의 평균속도분포이다. Fig. 5(a)로부터 축방향 평균속도 크기 분포는 블레이드 끝단(Tip)에서 음의 값을 제외하곤 전체적으로 상류와 하류에서 모두 양의 값으로 나타남을 알 수 있다. 상류측 측정점에서는 반경방향의 거리 증가에 따라 완만한 기울기를 갖는 비교적 균일 분포를 보이나, 하류측에서는 허브위치 이전에서의 크기 분포가 상류측보다 작게 나타나고, 전체적으로 반경방향의 거리 증가에 따라 급속히 증가하다가 반경비 0.5~0.9에서는 축류 펌의 평균 유입속도보다 가속이 되어 크게 나타나며, 반경비 약 0.8 부근에서 최대치를 보여 이곳에서 블레이드 양력이 가장 크게 작용함을 알 수 있으며, 그 이후부터는 급속히 감소하다가 반경비 1인 블레이드 끝단에서 음의 값으로 최소치를 보이므로 역류현상을 감지할 수 있다. 여기서 오리피스가 없는 경우, 축류 펌 상류측에서는 전체적으로 오리피스가 있는 경우보다 약간 작은 크기로 나타나, 축류 펌 하류측에서는 반경비 0.8이전에서 오리피스가 없는 경우가 있는 경우보다 약간 증가하여 나타나고 그 이후부터는 반대 현상을 보이고 있다. 이 같은 평균속도크기는 星野 등⁹⁾의 연구에서도 측정 조건은 수조내에서 실험한 선박용 프로펠러로 본 연구와 서로 다르지만 유사한 크기로 분포됨을 확인할 수 있다.

한편 Fig. 5(b)로부터 반경방향 평균속도 크기 분포는 허브영역에서는 오리피스 유무에 관계없이 0에 가까운 작은 크기를 보여주나 허브를 벗어난 영역에서는 반경방향의 거리 증가에 따라 점진적으로 음의 값을 가지면서 감소하고 있다. 또 하류측에서는 반경비 약 0.8 부근 전까지는 음의 값으로 비교적 완만한 기울기로 나타나나 반경비 약 0.8이후부터는 반경비 증가에 따라 오리피스 유무에 관계없이 비슷한 크기로 약간 증가하다가 다시 감소해 가는 경향을 보여주고 있다. 그러나 블레이드 끝단부근 일부를 제외하곤 속도분포가 전체적으로 상하류 모두 음의 값으로 나타나 반경방향 평균속도는 축류 펌 중심부 쪽으로 향하는 유동방향성을 가짐을 알 수 있다.

또 Fig. 5(c)의 접선방향 평균속도 크기 분포는 오리피스 유무에 관계없이 상류 및 하류측에서 모두 양의 값으로 나타나 축류 펌의 회전방향과 동

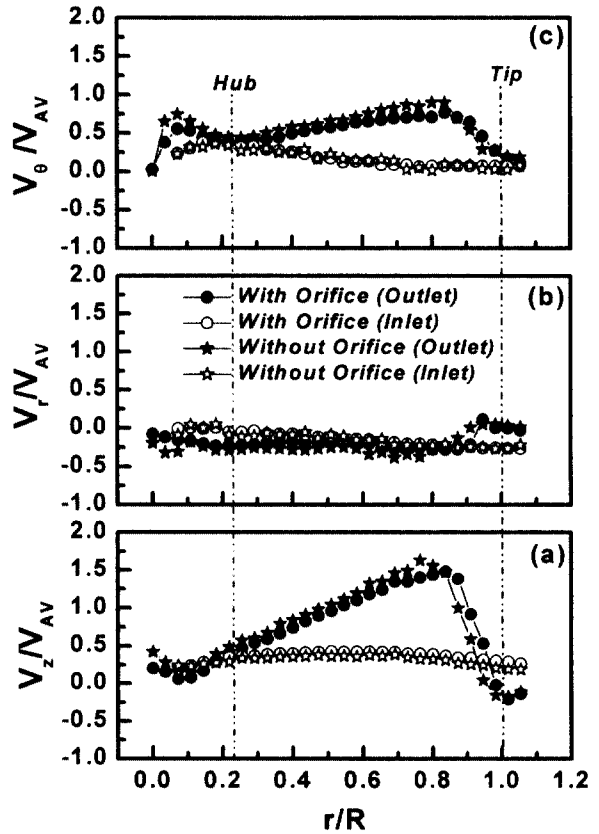


Fig. 5 Mean velocity profiles along the radial distance($\varphi = 0.32$)

일한 반시계 방향으로 유동이 형성됨을 보여주고 있다. 여기서 오리피스에 의한 속도차이의 영향은 크게 작용하지 않음을 알 수 있다. 상류측에서 접선방향 평균속도 크기 분포는 반경방향의 거리 증가에 따라 중심축에서 반경비 약 0.2까지는 증가하다가, 그 이후부터는 서서히 감소해 가는 경향을 보이고 있다. 하류측에서 접선방향 평균속도 크기 분포는 중심축에서 허브 위치까지는 갑자기 증가하다가 감소하여 나타나나, 허브위치 이후부터는 반경방향의 거리 증가에 따라 증가하다가 반경비 약 0.8부근에서 최대값을 보이며 강한 선회류가 존재함을 알 수 있다.⁹⁾ 또 반경비 0.8이후부터는 급속히 감소하다가 블레이드 끝단부근에서 다시 완만한 분포를 보여주고 있다. 한편 Fig. 5로부터 운전점 $\varphi = 0.32$ 의 하류측에서 얻어진 속도분포로부터 축방향 평균속도 성분이 가장 크게 존재하며, 그 다음 접선방향 평균속도 성분이 지배적으로 존재한다는 것을 알 수 있다. 여기서 축류 펌의 반경방향 평균속도 크기 분포는 축방향 및 접선방향 평균속도 크기보다 현저히 작게 형성됨을 알 수 있다.

3.3 난류강도 및 난류운동에너지 분포

Fig. 6은 최대 풍량을 나타내는 운전점 $\varphi=0.32$ 에서 축류 팬 상류와 하류에서 오리피스 유무에 따라 각각 측정된 3차원 난류속도의 RMS(Root-mean-square) 성분들을 축류 팬으로 유입하는 평균속도로 나누어 무차원으로 나타낸 난류강도들의 그림이다.

여기서 Fig. 6(a), 6(b) 및 6(c)는 각각 축방향 성분, 반경방향 성분 및 접선방향 성분의 난류강도 분포이다. 상류측에서 난류강도 성분들을 살펴보면, 각 방향 성분들 모두 반경방향의 거리 증가에 따라 오리피스 유무에 관계없이 거의 같은 크기로 서서히 완만하게 감소하는 경향을 보여주고, 최대값이 허브 반경비 안쪽에서 일어나며, 축방향성분이 약 15%미만, 반경방향 성분이 약 20%미만, 접선방향 성분이 약 30%미만의 크기로 각각 나타나 있음을 알 수 있다. 그러나 하류측에서의 난류강도 분포들을 살펴보면, 모두 중심축상에서는 오리피스의 유무에 따라 분포차이를 나타내지만, 중심축에서 허브위치까지는 감소해 가는 경향을 보인다.

Fig. 6(a)로부터 축방향 난류강도분포는 하류측에서 반경방향 거리 증가에 따라 오리피스 유무에 관계없이 난류강도 약 20%로 반경비 약 0.7까지는 일정하게 유지하지만, 그 이후부터는 오리피스 유무에 따른 약간의 크기 분포차이를 나타내며 증가하다가 반경비 약 0.95부근에서 최대값 약 55%에 도달한 다음 급격히 감소한다. 또 Fig. 6(b)로부터 반경방향 난류강도분포는 허브위치 이후부터 반경방향 거리 증가에 따라 난류강도 약 20%부터 증가하다가 반경비 약 0.9부근에서 최대값 약 100%에 도달한 다음 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 여기서도 반경비 0.6~0.9사이에서 오리피스가 없는 경우가 있는 경우보다 약간 큰 크기 분포를 보이고 있다.

한편, Fig. 6(c)로부터 접선방향 난류강도 분포는 허브위치에서 반경비 약 0.8까지 반경방향 거리 증가에 따라 난류강도 약 25%로 비교적 일정하게 나타나나 그 이후부터는 증가하다가 반경비 약 0.9부근에서 최대값 약 40%에 도달한 다음 감소하는 경향을 나타내고 있다. 여기서도 오리피스 유무에 따른 약간의 크기 분포차이를 볼 수 있다. Fig. 6에서 가장 현저한 현상은 반경방향에서 난류강도의 정점의 크기가 가장 크게 발생하고 난류강도 분포의 기울기 역시 가장 크게 형성됨을 보여준다. 반면에 접선방향 성분과 축방향 성분의 난류강도는 전체 반경비에 걸쳐 기울기가 비교적 완만한

모습을 보여주고 있다.

Fig. 7은 최대 풍량을 나타내는 운전점 $\varphi=0.32$ 에서 오리피스 유무에 따라 축류 팬 상류와 하류

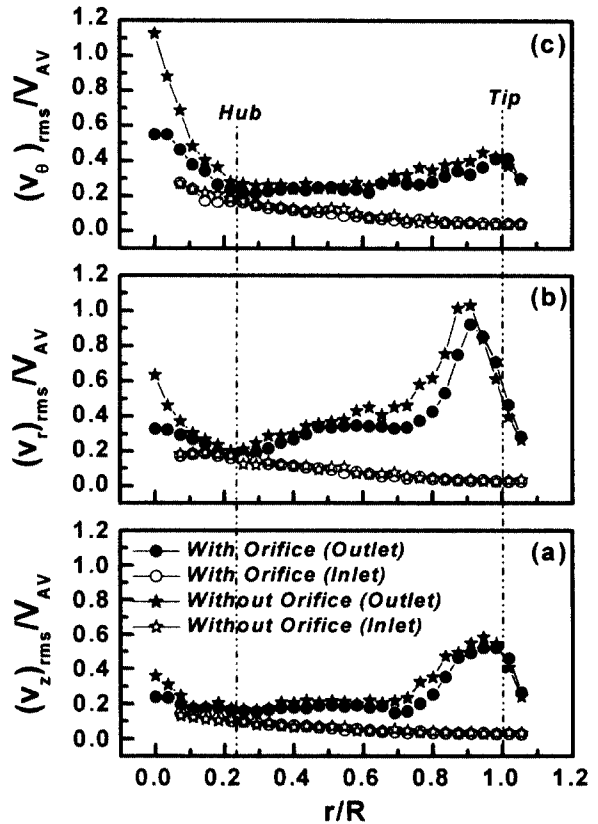


Fig. 6 Turbulent intensity profiles along the radial distance($\varphi=0.32$)

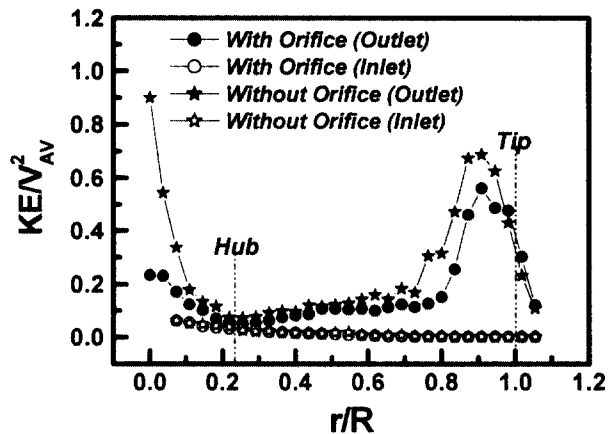


Fig. 7 Turbulent kinetic energy profile along the radial distance($\varphi=0.32$)

에서 각각 측정된 3차원 난류속도의 RMS성분들로부터 얻어진 난류운동에너지를 축류 팬으로 유

입하는 평균속도로 나누어 무차원으로 나타낸 그림이다. 상류측에서의 난류운동에너지는 오리피스 유무에 관계없이 10%미만의 매우 작은 거의 동일한 크기로 분포되어 반경방향 거리 증가에 따라 서서히 감소해 가는 경향을 보인다. 그러나 하류에

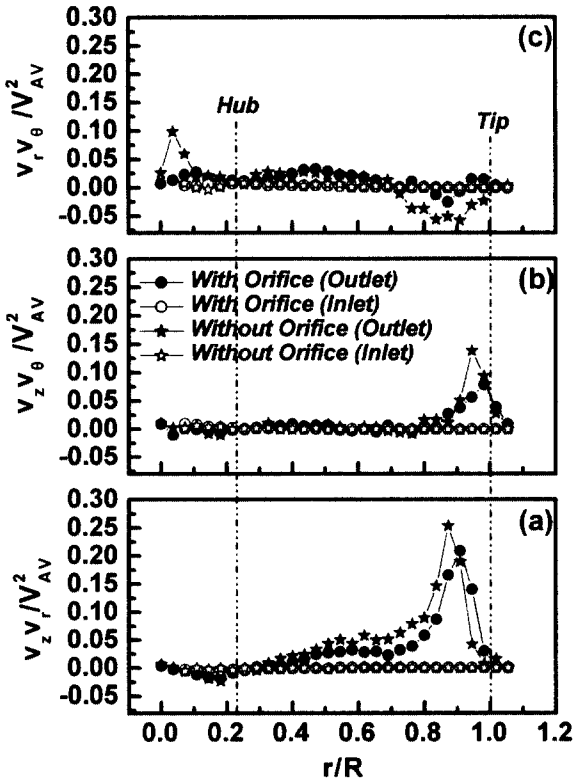


Fig. 8 Reynolds shear stress profiles along the radial distance($\varphi=0.32$)

서의 난류운동에너지는 중심축상에서 허브 근처까지는 감소경향을 보여주며 오리피스 유무에 따라 큰 차이를 보여준다. 또 허브위치 이후부터는 오리피스 설치 유무에 관계없이 비교적 유사한 크기로 완만하게 반경비 약 0.7까지 증가하고, 그 이후부터는 급속히 증가하다가 반경비 약 0.9에서 최고치 약 60%에 도달한 다음 그 이후 급격히 감소해 가는 경향을 보여주고 있다. 그러나 반경비 약 0.7이후부터는 오리피스가 없는 경우가 있는 경우보다 더 크게 나타나 반경비 0.9에서 약 10% 더 크게 나타나고 있다.

3.4 난류전단응력 분포

Fig. 8은 최대 풍량을 나타내는 운전점 $\varphi=0.32$ 에서 오리피스 유무에 따라 축류 펌 상류와 하류에서 각각 측정된 3차원 난류속도의 전단응력 성분들을 축류 펌으로 유입하는 평균속도로 나누어 무차원으로

로 나타낸 난류전단응력들의 그림이다. 여기서 Fig. 8(a), 8(b) 및 8(c)는 각각 축방향 및 반경방향 성분, 축방향 및 접선방향 성분 그리고 반경방향 및 접선방향 성분의 난류전단응력 분포이다.

Fig. 8로부터 상류측에서 난류전단응력 성분들은 모두 오리피스 유무와 반경방향 거리 변화에 관계없이 거의 0에 가까운 크기 분포를 보이고 있어 초기 유입되는 흐름에는 난류전단응력 성분들이 거의 존재하지 않음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 8(a)로부터 하류에서의 축방향 및 반경방향 성분의 난류전단응력 분포는 반경방향의 거리 증가에 따라 반경비 약 0.2까지는 음의 값을 보이며 감소하다가 그 이후부터 다시 증가하는 경향을 보이며 반경비 약 0.9근처에서 최대값 약 20%를 보이고 있다. 여기서 오리피스가 없는 경우가 반경비 0.5~0.9근처에서 오리피스가 있는 경우보다 약간 더 크게 나타나고 있다.

Fig. 8(b)로부터 축방향 및 접선방향 성분의 난류전단응력 분포는 오리피스 유무에 관계없이 반경비 약 0.8까지는 약간의 기울기 변화가 나타나나 거의 0에 가까운 값의 분포를 보여주며 그 이후부터 반경방향 거리 증가에 따라 증가하다가 그 이후 약 0.95부근에서 최대값 약 10%를 보인 후 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 여기서도 오리피스 유무에 따른 편차가 존재함을 볼 수 있다. 한편, 반경방향 및 접선방향 성분의 난류전단응력 분포는 Fig. 8(c)로부터 오리피스가 있는 경우 약간의 기울기 변화가 나타나나 거의 0에 가까운 크기분포로 매우 작게 나타나며, 오리피스가 없는 경우에는 반경비 약 0.1이전에서 Peak치가 보이나 반경비 약 0.7~1사이에서 음의 값을 보이며 오리피스가 있는 경우와 큰 대조를 보이고 있다.

4. 결론

냉장고용 소형 축류 펌의 최대 풍량에 해당하는 운전점 $\varphi=0.32$ 에서 형성되는 난류 유동장으로부터 3차원 LDA 시스템을 이용하여 3차원 난류속도 성분들을 측정된 결과는 다음과 같다.

- 1) 평균속도 성분은 축방향과 접선방향 성분이 지배적으로 존재하고 모두 반경비 약 0.8부근에서 최대값을 보이나, 반경방향 성분의 평균속도는 블레이드 끝단부 일부를 제외하곤 유동방향이 축류 펌 중심축쪽으로 향하고 있음을 알 수 있다.
- 2) 난류강도크기는 반경방향 성분이 가장 크게 나타나며 반경비 약 0.9에서 최고치 약 100%를

보이나 축방향 및 접선방향 성분들은 블레이드 끝단부근에서 최대값을 나타내고 있다. 또한 난류운동에너지 역시 반경비 약 0.9에서 최고치 약 60%를 나타내고 있다.

- 3) 난류전단응력 분포크기는 상류측에서 거의 존재하지 않다가 하류측에서는 축방향 및 반경방향 성분 $v_r v_r$ 가 가장 크게 분포되어 나타나 반경비 약 0.9 부근에서 최대값 약 20%를 보이고 있다.

후 기

본 연구는 2000년도 군산대학교 수산과학연구소의 연구비 일부 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 青木美昭, 近藤文男, 松田憲兒, 山口信行, 富永哲雄, 林 昌照, "カーエアコン用コンデンサ冷却ファンの低騒音化", 三菱重工技報, Vol. 24, No. 2, pp. 161~167, 1987
2. 赤池 茂, 北田基博, 松島尙義, 菊山功嗣, "車兩用冷却ファンの低騒音化研究", 日本機械學會論文集(B編), 59卷, 558號, pp. 447~452, 1993
3. 釜谷周滋, 金林新二, "小形軸流送風機における低流量域特性の改善", 日本機械學會論文集(B編), 56卷, 532號, pp. 3769~3773, 1990
4. 川口清司, 門田 茂, 鈴木昌彦, 松井數馬, 菊山功嗣, "低騒音ファンの研究", 日本機械學會論文集(B編), 59卷, 558號, pp. 453~459, 1993
5. 近藤文男, 青木美昭, 山口信行, 富永哲雄, 新田堯, "空調用プロペラファンの騒音低減", 三菱重工技報, Vol. 27, No. 3, pp. 267~272, 1990
6. T. ADACHI, "Flow in the Moving Blade Passage of an Axial-Flow Fan", Proceedings of the 7th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Volume C, pp. 1285~1294, 1998
7. T. Adachi, M. Yamashita, K. Yasuhara, T. Kawai, "Effects of Operating Conditions on the Flow in the Moving Blade Passage of a Single Stage Axial-Flow Fan", Proceedings of the 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Vol. 2, pp. 199~208, 1996
8. H. S. Rew, S. H. Kim, Y. G. Jung, C. J. Kim, J. E. Cha, "LDA Measurement and Calculation in a Small Axial Fan", Proceedings of the 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Vol. 2, pp. 209~218, 1996
9. 星野徹二, 大島明, "3成分 Laser Doppler Velocimeter(LDV)によるプロペラ周りの流場計測", 三菱重工技報, Vol. 23, No. 3, pp. 343~350, 1986
10. 星野徹二, "後流渦モデルの改良によるプロペラ翼面壓力分布及び流場の高精度計算", 三菱重工技報, Vol. 27, No. 4, pp. 368~373, 1990
11. J. Vad, F. Bencze, "Three-Dimensional Flow in Axial Flow Fans of Non-Free Vortex Design", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 19, pp. 601~607, 1998
12. M. G. Beiler, T. H. Carolus, "Computation and Measurement of the Flow in Axial Flow Fans with Skewed Blades", Transactions of the ASME(Journal of Turbomachinery), Vol. 121, pp. 59~66, 1999
13. S. Uto, "Computation of Incompressible Viscous Flow around a Marine Propeller", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 173, pp. 67~75, 1993
14. AMCA STANDARD 210-85, 1985
15. 김장권, "FAN TESTER의 성능평가에 대한 연구", 한국항공우주학회지, 제22권, 제1호, pp. 106~112, 1993